

一般社団法人新潟県建設技術センター

平成 30 年度 研究助成事業報告書

雪崩予防柵の雪庇防止・軽減対策に関する事業

平成 31 年 3 月

特定非営利活動法人 なだれ防災技術フォーラム

理事長 下村忠一

1. 事業の目的

雪崩予防柵は、雪崩発生区に設置し雪崩を未然に防ぐ効果的な工法として知られている。一方、道路や集落施設に近接して設置された予防柵は、斜面積雪の崩落を予防できるものの、積雪最盛期になると予防柵上に大きな雪庇が発生し、雪庇の崩落による災害を予防するために入力による雪庇処理が行われている。

この雪庇処理作業は、非常に危険を伴うため管理者が毎年苦慮しており、雪庇の減少、雪庇処理作業の軽減を図る手法が望まれている。

本事業は、雪庇形成メカニズムを調査し、雪庇の成長抑制手法および雪庇処理の優先度を明らかにすることを目的とした。具体的には、補助施設により雪庇の成長を抑制・防止する方法の検討と、既設予防柵の縦断方向の積雪特性を解明し、雪庇の危険性を求めることがある。

2. 調査内容の概要

調査内容の概要を以下に示す。

2.1 雪崩予防柵に堆雪する雪庇形態の把握

雪庇の成長メカニズムは、施設の形状、材質、斜面方位・勾配、地表面の状況、積雪深、降雪強度、気温等の様々な要因がある。本事業では雪庇形成メカニズムの基礎調査として雪崩予防施設の種類と斜面勾配および縦断方向の積雪特性に着目し冬期間の観測を行った。

これまでの調査では、予防施設の種類に着目したものもあるものの、十分なデータとはいえない更なるデータ蓄積が望まれている。

2.2 施設による雪庇成長抑制効果の解明

雪庇の成長抑制手法は、雪崩施設上に設ける手法と斜面のグライドを抑制し雪庇の成長を防止する手法が考えられる。

前者は、雪庇の崩落を直接防ぐ手法であるものの予防柵の構造毎に形状を設計する必要があることから、施設の補強や取り付け方法が煩雑となる。

対して後者は、斜面に小規模な施設を設けることで斜面積雪のグライドを低減させ雪庇の成長を抑制するものである。グライド抑制手法の一つとして、比較的小規模な雪崩予防杭を用いる手法があり雪崩予防効果も確認されている。

本事業では、初年度・昨年度（2年次）に対策施設の形状等に影響されない雪崩予防杭を用いた手法を検討し、本年度（最終年次）には雪崩予防杭を用いた手法のほか、予防柵上部に設ける手法の検討を行い、雪庇の成長抑制効果の確認を行った。

3. 2年次までの研究成果の概要

3.1 雪崩予防柵への雪庇発生条件

昨冬期は2月までは平年を上回る降積雪状況となり、十日町試験地、小白倉、十二峠では予防柵上に雪庇が発生・成長した。

雪庇の発生・成長に影響する要素としては、

- ・予防柵の規模（設計積雪深）に対するその時点の積雪深の比率
 - ・降雪状況（日降雪量、連続降雪量）
 - ・柵面の傾きや斜面勾配
- などが考えられる。

ここでは予防柵の設計積雪深に対するその時点の積雪深の比率を「設計積雪深比」と定義し、「雪庇高さ」、「張出し幅」、「雪庇ボリューム」との関係を求める指標とした。

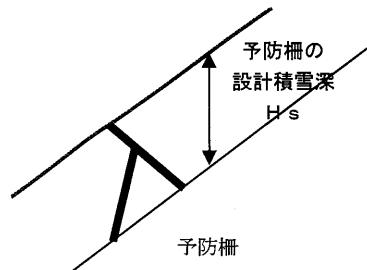


図3.1 予防柵の設計積雪深

以下に各斜面・予防柵の設計値等を示す。

表3.1 予防柵設計値一覧

地点名	斜面		予防柵				
	30年確率 積雪深 新潟県1/30確率 積雪マップ (m)	斜面勾配 (°)	柵面の長さ (m)	設計積雪深 柵の大きさ より算出 (m)	柵面の傾き 水平より (°)	柵タイプ (°)	柵面の傾き 法線より (°)
十日町試験地	350～400cm	40	2.5	3.2	50	-	0
小白倉	400～450cm	50	3.8	5.0	35	45	10
十二峠	400～450cm	50	2.6	4.0	30	50	10
子安トンネル池尻側坑口 下部斜面、上部斜面	500cm	35	5.0	5.6	40	35	15

各斜面・予防柵とも、積雪深が増える（設計積雪深比が大きくなる）ほど、雪庇高さや雪庇張出し幅が大きくなる傾向が確認できる。その増加率（傾き）は斜面毎にやや異なつており、斜面や予防柵の性状によるものと推測される。

また、雪庇発生の最低条件は、設計積雪深比が 0.4 以上ということが読み取れる（雪庇形成ボリュームの散布図より）。意味合いを下図に示す。

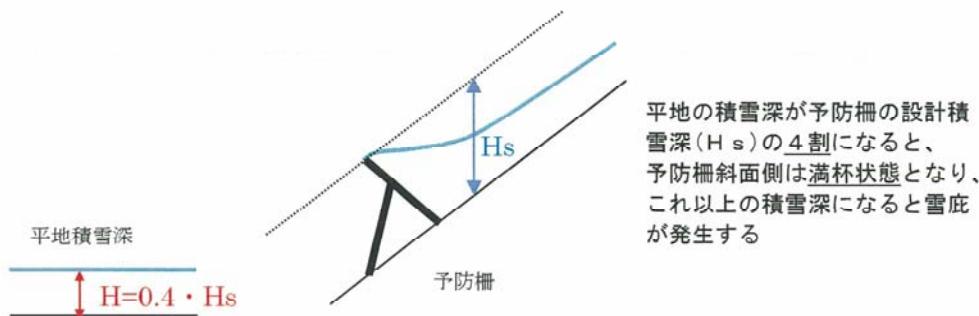


図 3.3 雪庇発生条件説明図

初年度（H28 年度）の調査では雪庇の張出しが無かったが、予防柵先端横バー部の積雪高さを読み取って整理している。

このデータを本年度観測の雪庇高さの散布図に追加したものと以下に示す。このうち、H28 年度と H29 年度の 2 ヶ年のデータがあるのは小白倉と十二峠である。

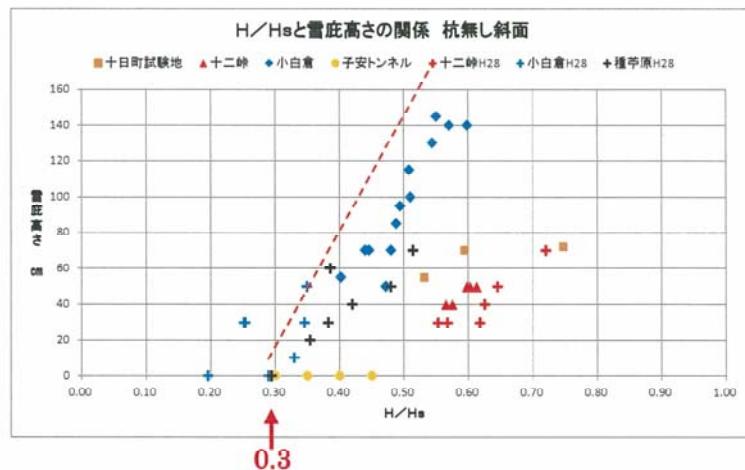


図 3.4 設計積雪深比 (H/H_s) と雪庇高さの関係 無対策予防柵

3.2 雪崩予防杭による雪庇成長抑制効果

初年度は小雪となり、雪庇は発生しなかった。

予防柵先端部への堆雪は見られたが、張り出しがごく僅かで、雪庇状態にならなかった。

2年次は2月までは平年を上回る降積雪状況となり、十日町試験地、小白倉、十二峠では予防柵上に雪庇が発生、発達した。

杭による雪庇成長抑制効果の活用に向けて、雪庇高さ、雪庇張出し幅、雪庇ボリューム、雪庇ボリューム低減率について、設計積雪深比との関係を分析した。

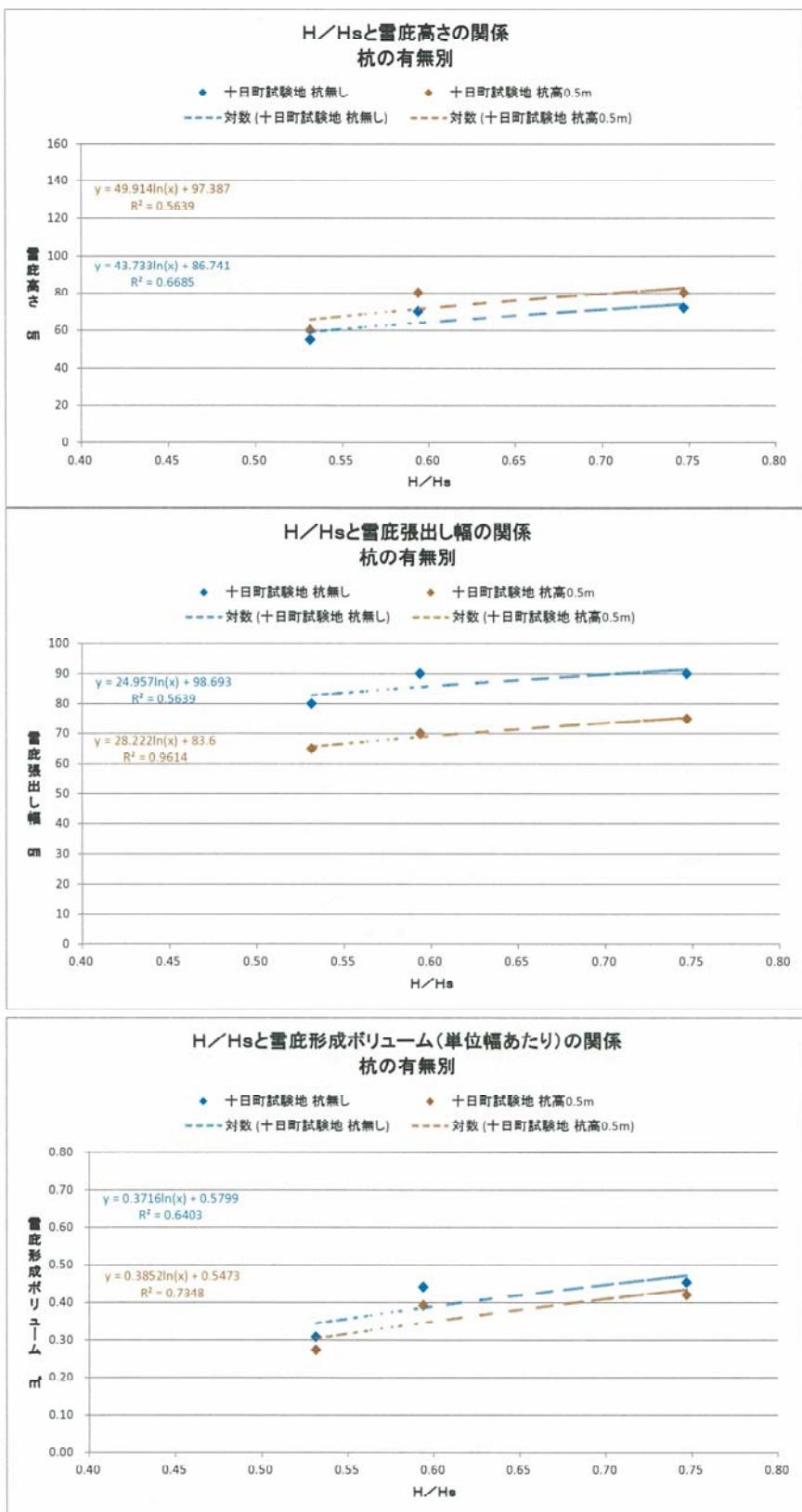
散布図・近似式を次ページ以降に示す。

小白倉の散布図より、以下の傾向が確認できる。

- ・設計積雪深比と雪庇高さ・雪庇張出し幅・雪庇ボリュームに正の相関があり、設計積雪深比が大きくなるほど、雪庇高さや雪庇張出し幅、雪庇ボリュームが大きくなる傾向が確認できる。
- ・雪庇高さは杭の有無により約20cmの差が確認でき、雪庇張出し幅も杭の有無により約10cmの差が確認できる。杭高による差ははつきりしない。
- ・雪庇ボリュームは設計積雪深比が大きくなるほど杭の有無による差が大きくなる傾向があり、設計積雪深比が約0.4で、どちらも収束する（雪庇ボリュームが0になる）。

また、十日町試験地の散布図では、以下の傾向が確認できる。

- ・雪庇張出し幅は杭の有無により約17cmの差が確認できる。



設計積雪深比と雪
庇張出し幅に正の
相関
杭の有無により約
17 cmの差あり

図 3.6 設計積雪深比と雪庇形成状況の関係（十日町試験地）

3.3 2年次までの成果のまとめ

雪崩予防杭による雪庇成長抑制効果の2年次までの成果を以下に示す。

(1) 設計積雪深比と雪庇ボリューム

■小白倉

- ・杭高 1.0m と 杭高 0.5m の近似式は概ね同様で、杭設置無しの近似式と比較して傾きが緩く、設計積雪深比が大きい場合 (0.6程度) は約 0.2 m³ の抑制効果（杭設置斜面の雪庇ボリュームが小さくなる）が期待でき、設計積雪深比が 0.4程度 で抑制効果はほぼ 0 となる。

■十日町試験地

- ・杭設置無しの近似式と杭高 0.5m の近似式は概ね並行で、設計積雪深比にかかわらず約 0.04 m³ の抑制効果が期待できる。

(2) 設計積雪深比と雪庇ボリューム低減率

■小白倉

- ・設計積雪深比と雪庇ボリューム低減率に、ばらつきが大きいものの負の相関性がみられる。
- ・雪庇ボリュームの低減率に杭高による顕著な差はみられない。平均値は約 0.3 であった。

■十日町試験地

- ・十日町試験地ではばらつきは少なく平均値は 0.1 であった。

雪崩予防杭の雪庇成長抑制効果（2年次までの結果）

- ・雪庇ボリュームの低減率は、小白倉では杭高による顕著な差はなく、10～70%の範囲でばらつきが大きく、平均では約 30% であった。十日町試験地ではばらつきは少なく約 10% であった。
- ・施設による雪庇ボリュームの低減率は、10%～30%程度が期待できるが、雪庇ボリュームが大きい時は概ね 10%と判断できる。

また、同地点の別の柵を対象に、柵上部への雪庇防止工法の効果調査を実施した。杭による効果は間接的なものでほかの要素に影響を受けるため、直接的な工法として効果調査を実施したものである。詳細は「5. 柵上部への雪庇防止工法」を参照。

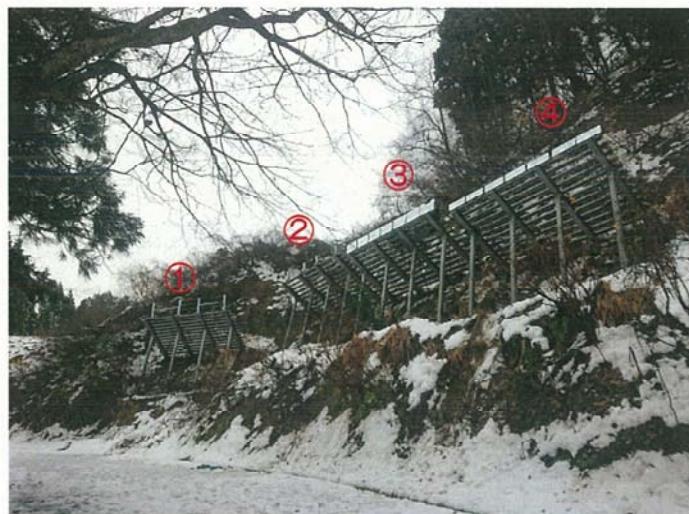


写真 4.2 柵上部雪庇防止工法設置状況（小白倉）
①ワイヤー1m ②ワイヤー0.5m ③三角板 0.5m ④三角板 0.3m

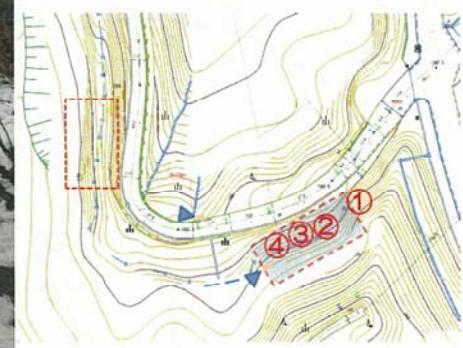


図 4.2 小白倉 対象斜面・予防柵位置図

【十日町試験地実験斜面】

十日町試験地は、2年次調査から調査斜面とした。
実験斜面下部に予防柵が2基横並びに設置されており、木杭0.5mを設置して、設置なしの柵との比較観測を行った。



写真 4.3 木杭設置状況（十日町試験地）

4.2 雪庇形成状況

冬期観測として、調査対象斜面において連続自動写真撮影、定期的に観測員が現地に入つての写真撮影、積雪断面観測を行つた。積雪断面観測の結果は巻末に示す。

今冬期は暖冬傾向で、「小白倉」、「十日町試験地」とともに平年を下回る降積雪状況であった。このため、連続して長期間雪庇状態となることはなく、大きな雪庇に成長することもなかつたが、連続写真撮影や定期写真撮影等で小規模な雪庇の形成が確認された時期があつた。

雪庇高さ・雪庇の張出し幅は、予防柵先端の横バー位置を基準とした（下図参照）。

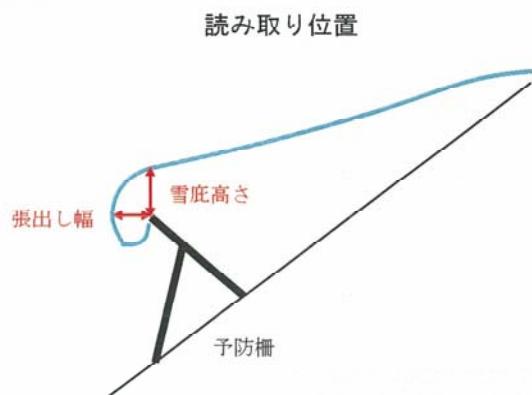


図 4.4 読み取り（計測）位置図

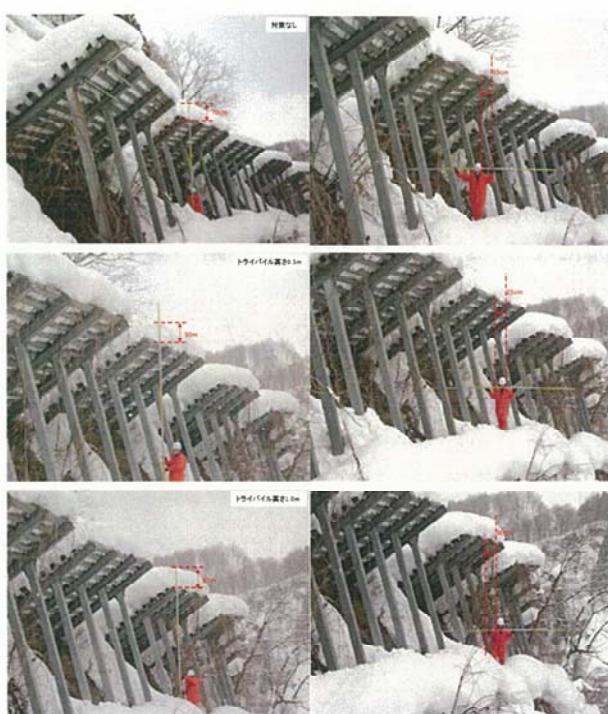
調査対象予防柵の雪庇形成状況（連続写真撮影、定期写真撮影・現地観測より判読・整理）を次ページに一覧で示す。また、「雪庇高さ」及び「雪庇張出し幅」の時系列グラフと、以下の算式で算出した単位幅あたりの「雪庇ボリューム」の時系列グラフもあわせて示す。

単位幅あたりの雪庇ボリューム（雪庇断面積）を以下の算式で定義

$$\begin{aligned} \text{単位幅あたりの雪庇ボリューム } & (\text{m}^3/\text{m}) \\ & = \text{高さ} \times \text{張出し幅} \times \text{変換係数 } (0.7) \end{aligned}$$

【小白倉】

年月日	トライパイル設置 予防柵 (杭高 1.0m)		トライパイ爾設置 予防柵 (杭高 0.5m)		杭設置なし 予防柵		備考
	雪庇高さ cm	張出し幅 cm	雪庇高さ cm	張出し幅 cm	雪庇高さ cm	張出し幅 cm	
1月 27 日	55	25	50	30	70	40	
1月 28 日	50	30	45	25	65	40	
1月 29 日	45	25	40	25	60	35	現地計測
1月 30 日	50	25	40	30	60	30	
1月 31 日	45	20	35	25	55	25	
2月 3 日	30	15	30	15	40	20	
2月 10 日	30	20	25	15	45	25	
2月 15 日	40	25	40	20	50	30	
2月 17 日	35	15	30	15	45	20	
2月 18 日	35	15	30	15	40	20	
2月 19 日	30	10	20	10	30	15	



平成 31 年 1 月 29 日計測

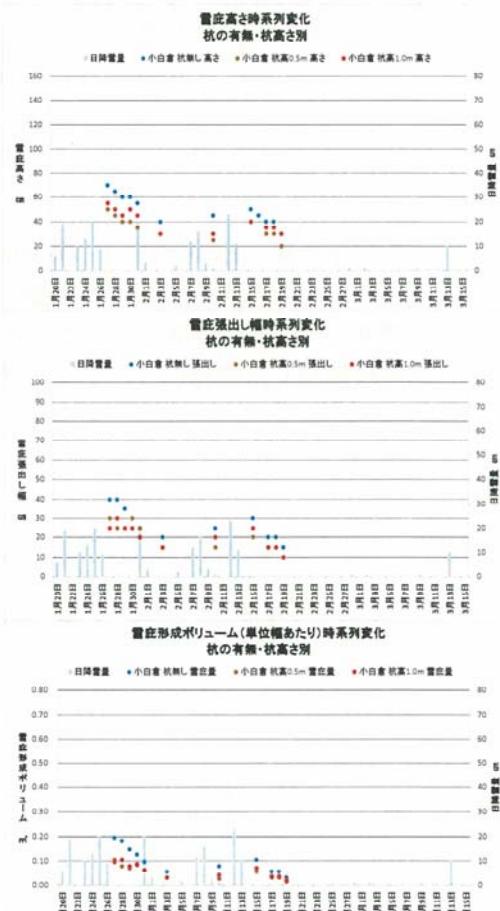


図 4.6 雪庇形成状況（小白倉）

小白倉		H29 雪庇写真		H30 雪庇写真	
断面図					
十日町試験地		H29 雪庇写真		H30 雪庇写真	
断面図					
斯面図		H29 雪庇写真		H30 雪庇写真	
断面図					

以下に前項で示した、設計積雪深比（ H/H_s ）との関係で、雪庇高さ、雪庇張出し幅、雪庇形成ボリューム（単位幅あたり）の傾向をとりまとめた昨年度作成した散布図に、本年度のデータを追加した散布図を示す。

昨年と同様、対象斜面は杭を設置していない斜面（無対策斜面）とした。また、計測データの確認を再度行い、雪庇の張出し幅が30cm以下の小規模のデータは除外した。同様に数日間の連続降雪直後の計測データ1件も条件が異なることから解析対象から除外した。

※しきい値の30cmは、予防柵横バー間隔の一般的な値を参考に設定したものである。

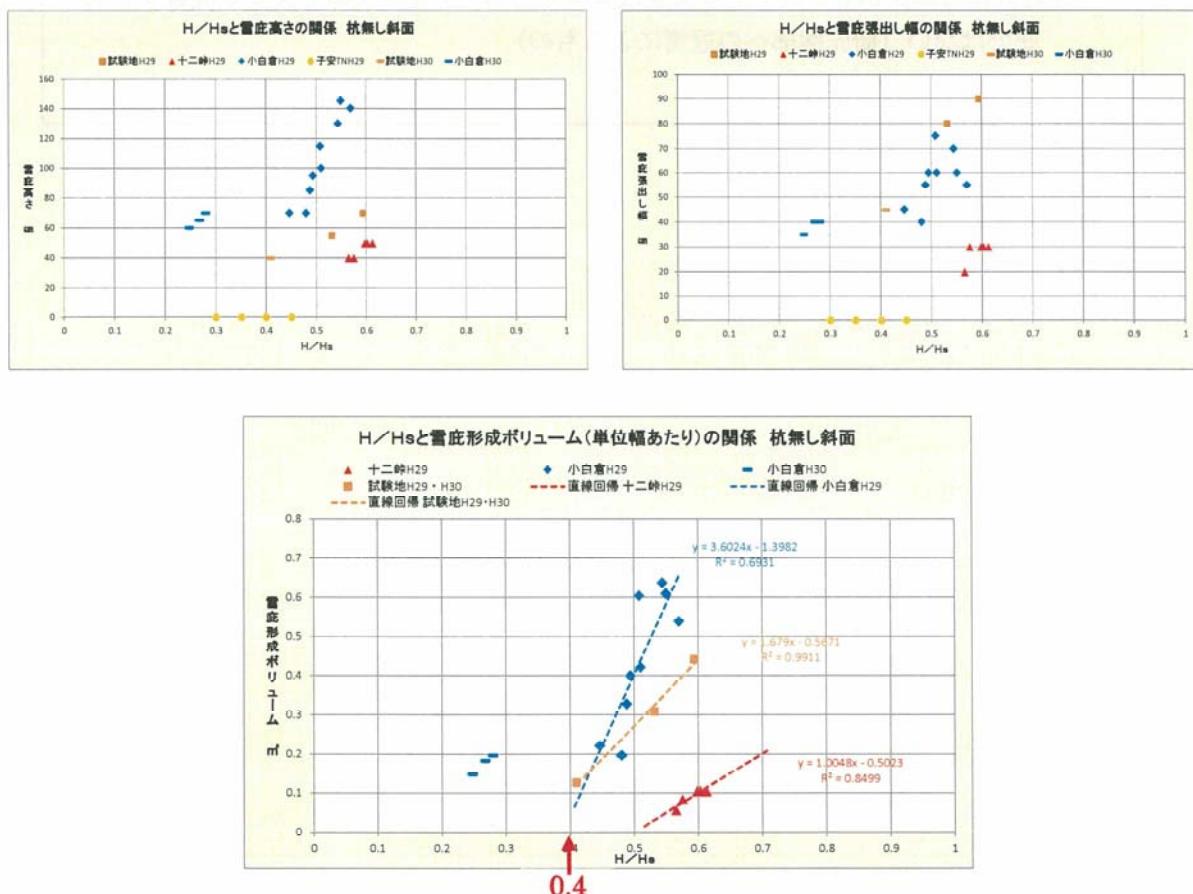


図4.9 設計積雪深比（ H/H_s ）と雪庇形態の関係 無対策予防柵

上記散布図より各斜面で傾向が異なっていることが確認できる。

小白倉は昨年度と本年度で大きく分布が異なっており、本年度のデータは小規模のものがほとんどのため近似式の対象データから除外した。近似式より雪庇発生条件は設計積雪深比が0.4以上と判断される。

十日町試験地の近似式は小白倉と比較し傾きが緩く、雪庇発生条件は設計積雪深比が0.3以上と判断されるが、0.4以下では小規模な雪庇がほとんどと推測される。

十二峰では雪庇発生条件として設計積雪深比が0.5以上と判断されるが、前ページに示した斜面状況と予防柵の特性と考えられる。

4.4 予防柵上の雪庇形成メカニズム

予防柵上の雪庇形成メカニズム（概略）の例を下図に示す。

降雪直後は斜面にはほぼ均一な積雪となるが、重力の作用によりグライドが発生し、下方の予防柵方向へ押し固められる。

予防柵斜面側のポケットが満杯になるとその後の降雪で予防柵上部から雪庇が張出し成長する。

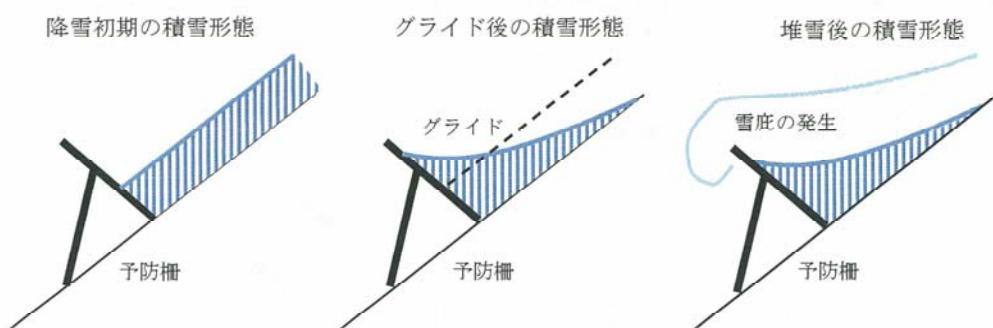


図 4.10 予防柵上の雪庇形成状況模式図

以下に示す写真は、今冬期の1月29日、1月22日の十日町試験地の状況である。

手前の予防柵の斜面側に高さ0.5mの木杭を設置している。雪面に杭によるグライド抑制の結果と推測される凹凸が見られ、予防柵上部への堆雪も奥側の無対策予防柵と比較し、やや少ない状況が確認できる。



写真 4.4 杭の有無による堆雪状況の違い（十日町試験地）

次ページに自然斜面と杭によりグライドを抑制した場合の雪庇発生・成長の過程をイメージで示す。

4.5 雪崩予防杭による雪庇成長抑制効果（本年度観測データを追加して整理）

2年次のグラフに本年度のデータを追加したのが以下のグラフである。

本年度のデータが、設計積雪深比で小白倉でほぼ 0.3 以下、十日町試験地で 0.4 前後となつたため、昨年度解析できなかった設計積雪深比 0.4 以下も含めて効果傾向が解析できた。

ただし、本年度が小雪であり、かつ杭の有無による差が小さかったことから、雪庇ボリュームの低減効果は 2 年次に比べて設計積雪深比が小さい場合はより小さくなる結果となつた。

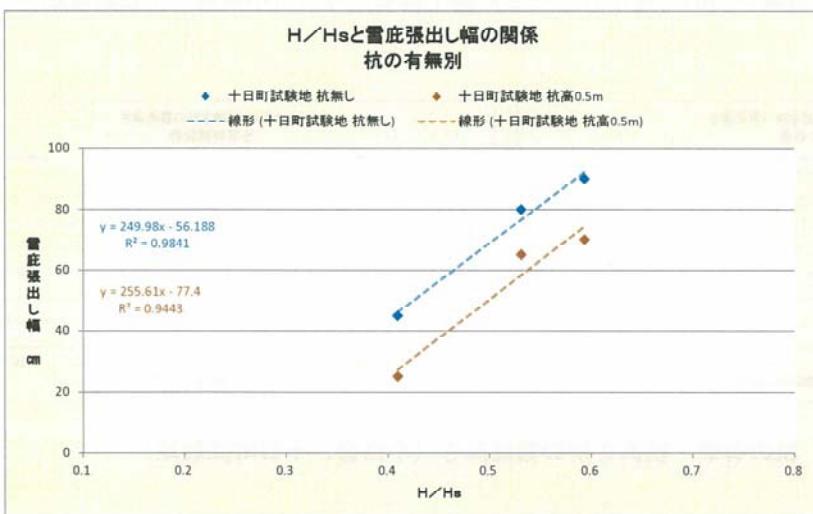
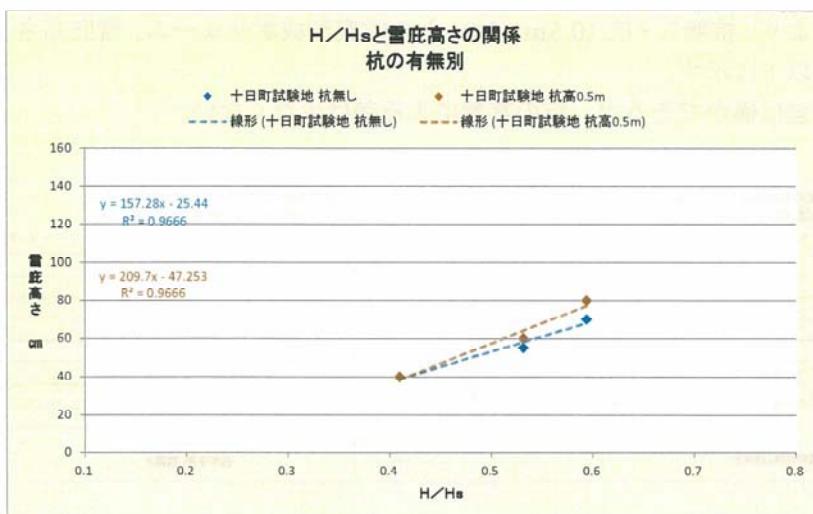
昨年度は、線形回帰よりやや相関係数が高かつたため近似式を対数関数としていたが、本年度観測データを追加すると相関係数の差が僅かであったため、近似式は直感的にわかりやすい線形回帰とした。

小白倉の散布図より、2 年次と同様に以下の傾向が確認できる。

- ・設計積雪深比と雪庇高さ・雪庇張出し幅・雪庇ボリュームに正の相関があり、設計積雪深比が大きくなるほど、雪庇高さや雪庇張出し幅、雪庇ボリュームが大きくなる傾向が確認できる。
- ・雪庇高さは杭の有無により約 20 cm の差が確認でき、雪庇張出し幅も杭の有無により約 10 cm の差が確認できる。杭高による差ははつきりしない。
- ・雪庇ボリュームは設計積雪深比が大きくなるほど杭の有無による差が大きくなる傾向があり、設計積雪深比が約 0.2 で、どちらも収束する（雪庇ボリュームが 0 になる）。

十日町試験地の散布図でも、2 年次と同様に以下の傾向が確認できる。

- ・雪庇張出し幅は杭の有無により約 10~20 cm の差が確認できる。



設計積雪深比と雪
庇張出し幅に正の
相関
杭の有無により約
20 cmの差あり

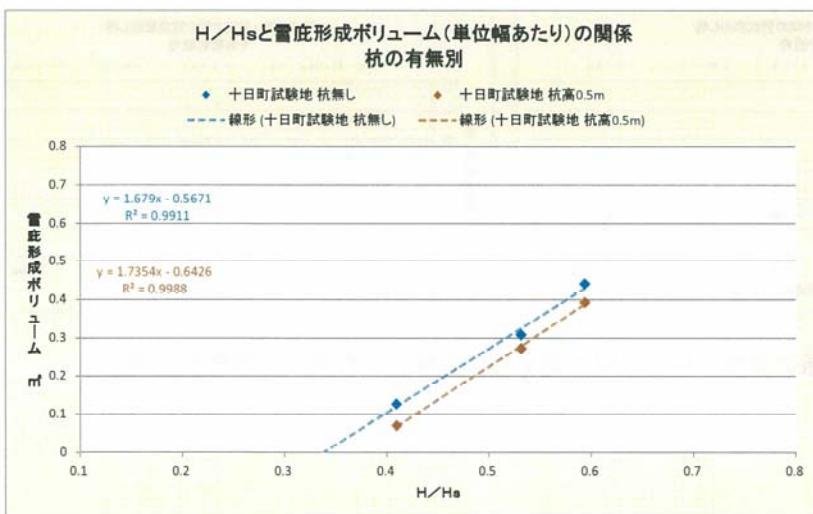


図 4.12 設計積雪深比と雪庇形成状況の関係（十日町試験地）

雪庇ボリューム低減率の設計積雪深比との関係について示す。

はばらつきが大きいものの、両地点とも雪庇ボリューム低減率に設計積雪深比と負の相関がみられる。また、観測地点や杭高により近似式の傾きにやや違いがあるものの顕著な差はなく、設計積雪深比が 0.3 のとき 0.5、0.6 のとき 0.1~0.2 の低減率が期待できる結果となった。

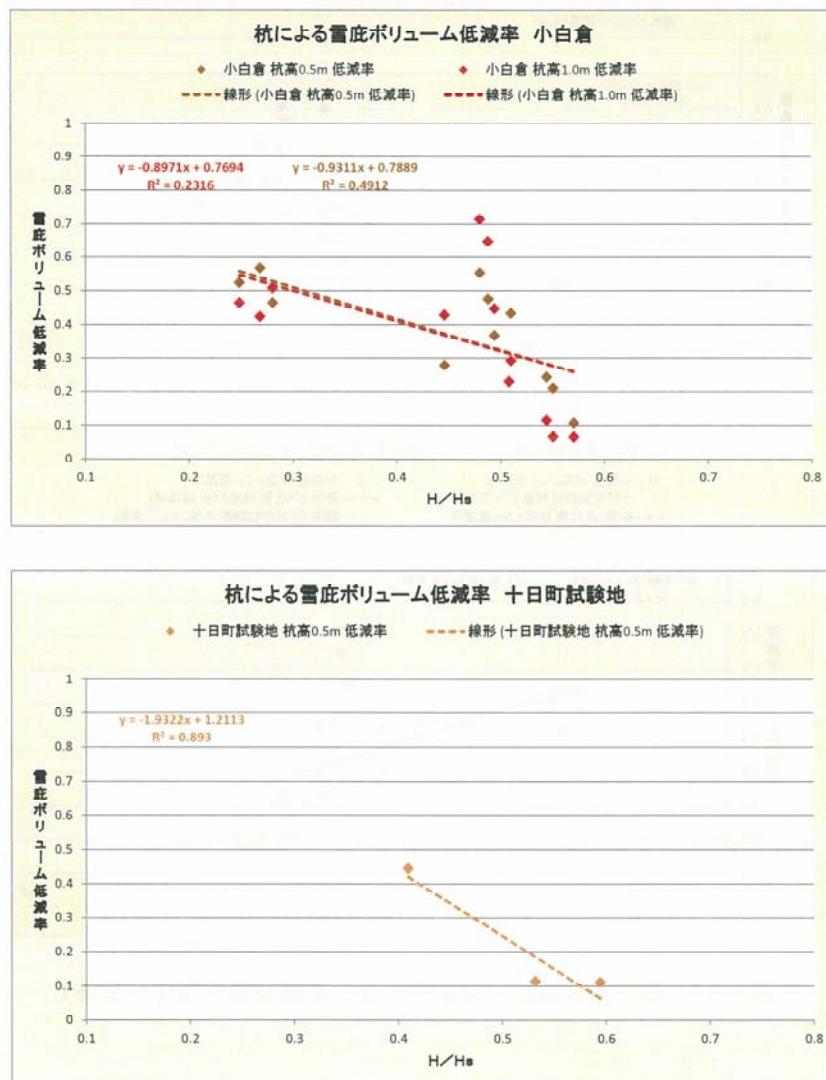


図 4.16 設計積雪深比と雪庇ボリューム低減率の関係（小白倉、十日町試験地）

4.6 本年度までの成果のまとめ

(1) 設計積雪深比と雪庇ボリューム

■小白倉

- ・杭高 1.0m と杭高 0.5m の近似式は概ね同様で、杭設置無しと比較し傾きが緩く、設計積雪深比が大きい場合（0.6程度） は約 0.15 m³ の抑制効果（杭設置斜面の雪庇ボリュームが小さくなる）が期待でき、設計積雪深比が0.2程度で抑制効果はほぼ0となる。

■十日町試験地

- ・杭設置無しと杭高 0.5m の近似式は概ね並行で、設計積雪深比にかかわらず約 0.05 m³ の抑制効果が期待できる。

(2) 設計積雪深比と雪庇ボリューム低減率

■小白倉・十日町試験地

- ・設計積雪深比と雪庇ボリューム低減率に、ばらつきが大きいものの負の相関性がみられる。
- ・雪庇ボリュームの低減率に杭高による顕著な差はみられない。平均値は約 0.35であった。

雪崩予防杭の雪庇成長抑制効果（本年度までの結果）

- ・雪庇ボリュームの低減率は杭高による顕著な差はなく、10～70%の範囲でばらつきが大きい。
- ・設計積雪深比と雪庇ボリューム低減率に負の相関性がみられ、平均では約 35%であった。
- ・施設による雪庇ボリュームの低減率は、10%～40%程度が期待できる。
- ・雪庇ボリュームが大きい時は概ね 10%～20%と判断できる。

5. 檻上部への雪庇防止工法

5.1 積雪深と気温

十日町の積雪深と気温の関係を図 5.1 に示す。

2019 年の積雪は、12 月 27 日頃から増加し、1 月 20 日～1 月 29 日の寒気により 2 月上旬で 1.5m 程度まで積雪が増加した。最大積雪深は、2 月 14 日の 1.4m であり、例年に比べ積雪深は少ない。

雪庇防止工を設置した小白倉地内の積雪においても、概ね観測点の積雪深と同等であり、最大積雪深は、1.5m 程度である。

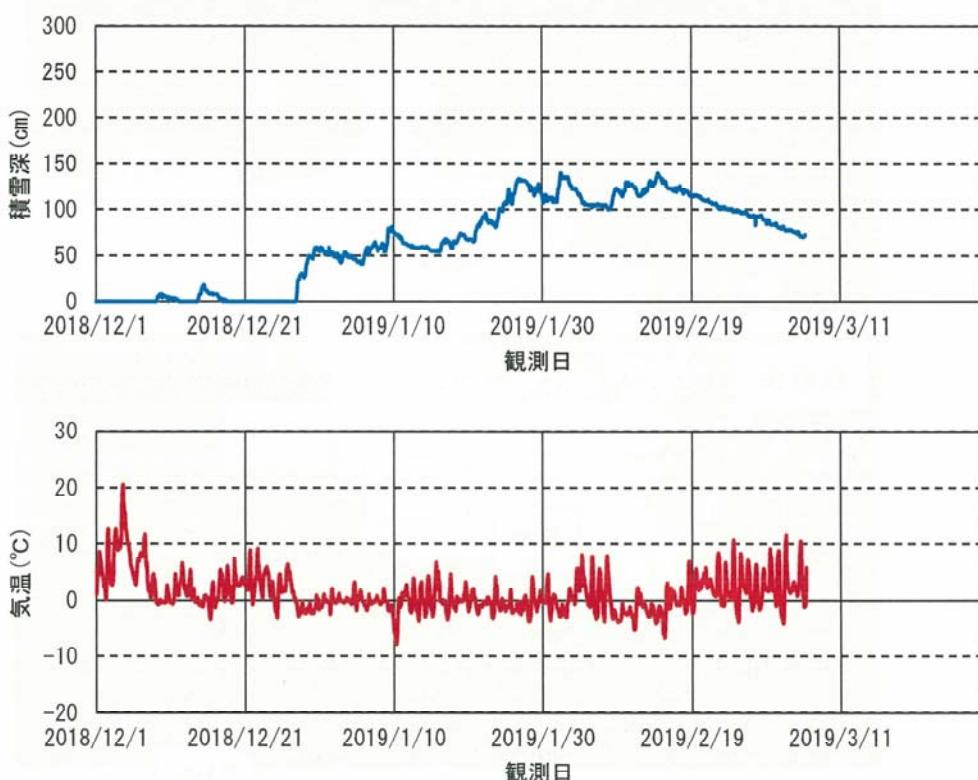


図 5.1 十日町市の積雪深と気温

5.2 実験供試体および観測方法

雪庇防止工は、高さ 30cm～1m の供試体を設置した。供試体の諸元を表 5.1 に示す。

供試体は、雪庇防止版構造とワイヤロープ構造の 2 種類とし、高さの影響および雪庇防止効果を比較した。

観測方法は、通信機能付き定点観測カメラを供試体側面および正面に設置し、1 時間毎にサーバーに記録した。

表 5.1 供試体の諸元

種別	高さ/構造	備 考
PL-30	柵高 30cm、鋼板	三角板タイプ
PL-50	柵高 50cm、鋼板	〃
F-50	柵高 50cm、H 鋼支柱、ワイヤロープ	ワイヤロープタイプ
F-100	柵高 100cm、H 鋼支柱、ワイヤロープ	〃

5.3 雪庇形成メカニズムと雪庇防止工の効果

雪崩予防柵上の雪庇形成メカニズムは、積雪深の増加と積雪のクリープ現象により柵先端から張り出し、気温の上昇によって積雪ブロックが落下することが明らかになった。

図 5.3 に現地での観測状況を示し、図 5.4 に 2 月 14 日～2 月 25 日までの定点観測写真を示す。

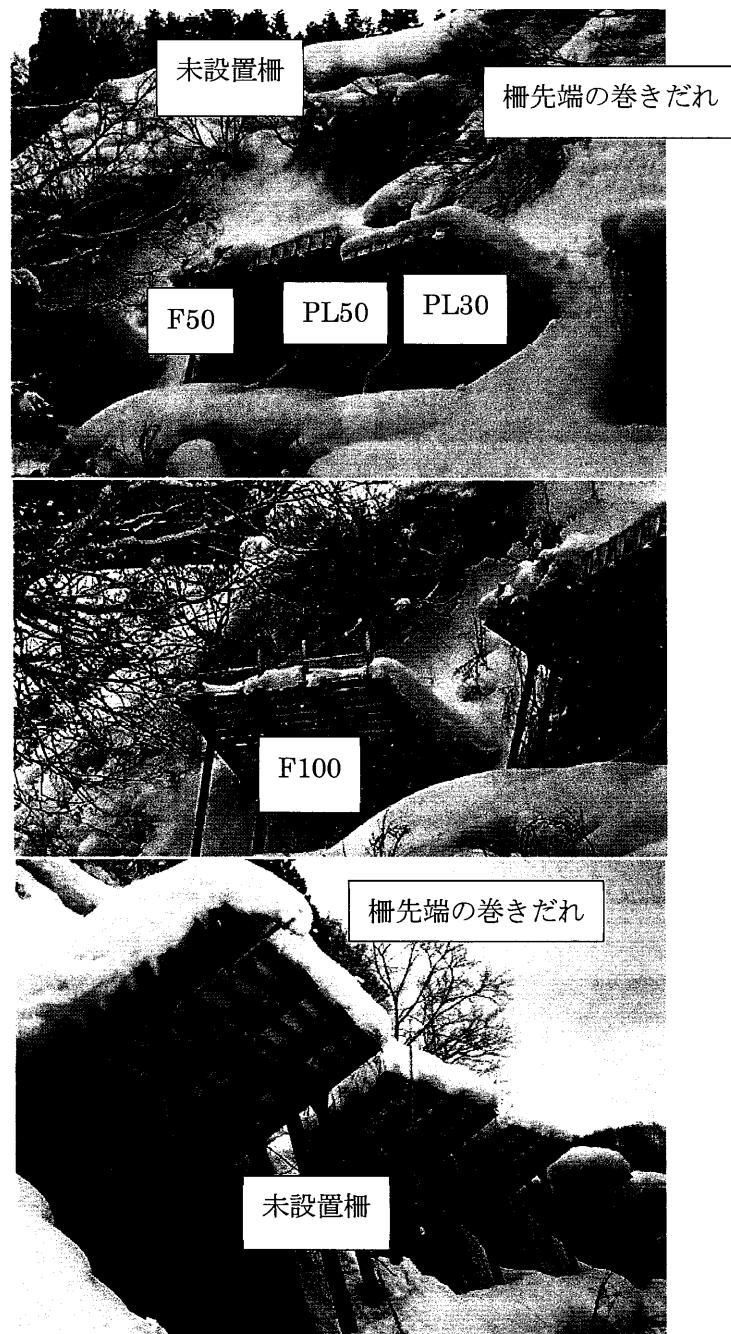


図 5.3 現地での観測状況



雪庇防止工の状況



雪庇防止工未設置の状況

図 5.4 (b) 定点観測写真(2/16, 17)



雪庇防止工の状況



雪庇防止工未設置の状況

図 5.4 (d) 定点観測写真 (2/19, 20)

5.4 雪庇防止工の効果

雪庇防止工は、柵先端からのクリープによる巻きだれを切断することで、雪庇の形成を抑制している。今回の観測では、雪庇防止板構造の PL-30 および PL-50 に冠雪がみられたものの、雪庇の形成に至っていない。

ワイヤロープタイプの F-50 および F-100 は、積雪深 1.5m 程度のとき小規模な着雪がみられたものの、気温の上昇によって雪庇が切断され雪庇成長抑制効果を発揮している。

雪庇防止板の高さの影響は、今回の積雪深の範囲において、優位な差を確認することができなかった。

ワイヤロープタイプは、ロープの隙間からの積雪の張り出しがあるものの、気温の上昇により消失し、雪庇の成長を抑制している。また、ロープからの雪庇のせり出しへ、観測期間中に発生していない。また、雪庇防止板構造に比べて融雪速度が速い。これは、柵先端側の積雪表面が露出することで、融雪を促進したものと考えられる。

5.5 まとめ

本研究により観測した雪庇防止工は、積雪深 1.5m の範囲では、十分な雪庇抑制効果を発揮しており、雪庇形成の防止効果として有用な対策であるものといえる。

雪庇成長抑制効果を考察すると、気温の上昇や積雪の沈降により柵先端からの雪庇を小規模な積雪ブロックとして切断することで、雪庇の成長を抑制している。



写真 5.2 対策工設置予防柵と未設置予防柵の状況（三俣）

日時	自動撮影写真	雪庇形成状況
2019/2/7 12:00		無対策予防柵上の雪庇はほぼ解消
2019/2/8～10		カメラへの着雪により欠測
2019/2/11 12:00		
2019/2/12 13:00		対策工へ僅かに冠雪
2019/2/13 7:00		対策工へ僅かに冠雪
2019/2/14 10:00		対策工へ冠雪 無対策予防柵の雪庇張出しあは僅か

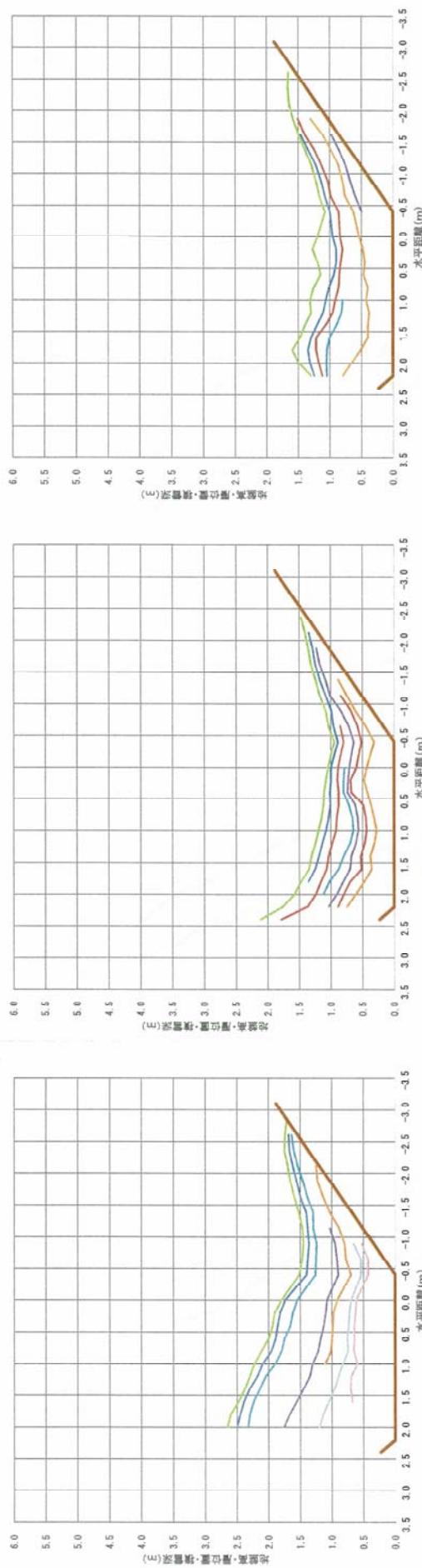
卷末資料

資料1 断面観測結果

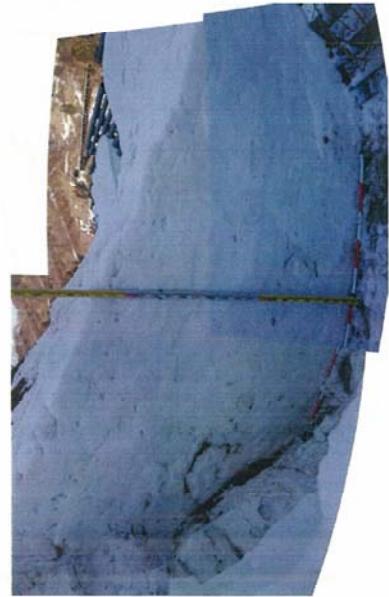
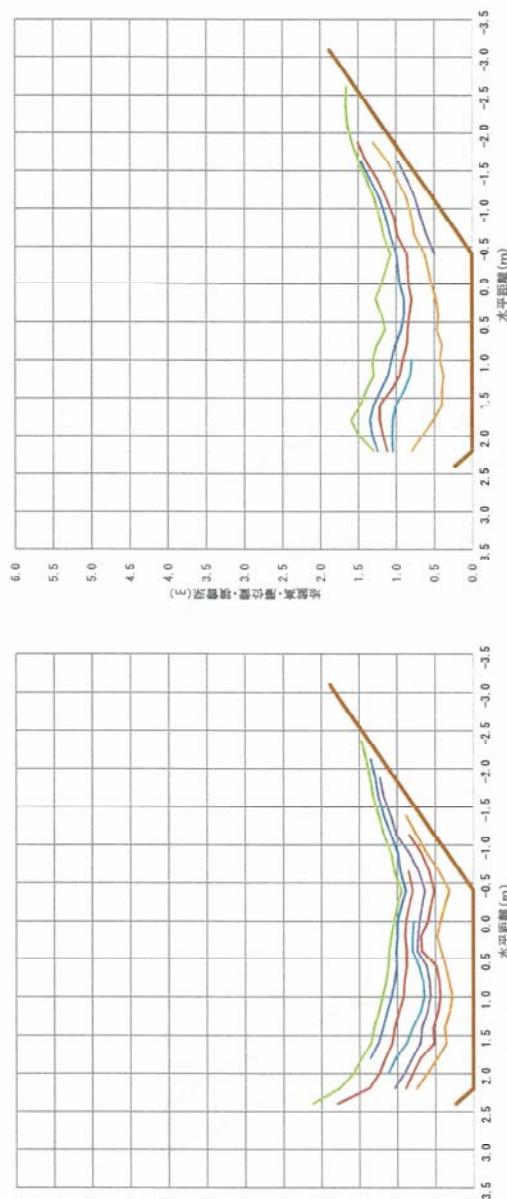
資料2 積雪深データ

小白倉 断面観測

小白倉 梁なし



小白倉 トライパイアル0.5m



- トライパイアル設置斜面では、雪面及び積雪層ともに予防柵先端と斜面の間の窪みが大きく、初年度・昨年度と概ね同様な傾向が確認できる。
- トライパイアル設置なし斜面では設置斜面と同様に窪みは確認できるものの、設置斜面より小さい。
- トライパイアル 0.5m設置斜面の平坦部の積雪層の乱れは降雪初期の雪塊の落雪によるもの。